

Docket No.: 50212-312



PATENT

44-
RJ
01-29-02

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Soichi ENDO, et al.

Serial No.: 09/988,633

Group Art Unit: 2874

Filed: November 20, 2001

Examiner:

For: AMPLIFICATION OPTICAL FIBER AND FIBER OPTIC AMPLIFIER
INCLUDING THE SAME

RECEIVED
JAN 18 2002
TC 2800 MAIL ROOM

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENTS

Honorable Commissioner for Patents and Trademarks
Washington, D. C. 20231

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the
following applications:

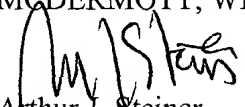
Japanese Patent Application Number 2000-395546, Filed December 26, 2000

Japanese Patent Application Number 2001-315450, October 12, 2001

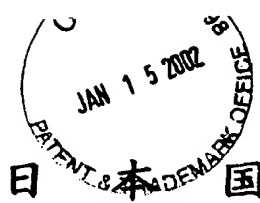
A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:kjw
Date: January 15, 2002
Facsimile: (202) 756-8087



日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

Soichi Endo, et al
09/488,633
Filed: Nov. 20, 2001

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年12月26日

出願番号

Application Number:

特願2000-395546

出願人

Applicant(s):

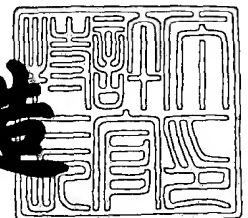
住友電気工業株式会社

RECEIVED
JAN 18 2002
TC 2800 MAIL ROOM

2001年 8月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3079639

【書類名】 特許願

【整理番号】 100Y0451

【提出日】 平成12年12月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00
G02F 1/35

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 遠藤 壮一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 岡本 和弘

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 高城 政浩

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 角井 素貴

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光増幅用ファイバおよび光ファイバ増幅器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波領域に希土類元素が添加されており励起光が供給されることにより信号光を光増幅する光増幅用ファイバであって、ゼロ分散波長が励起光波長以下であり、実効カットオフ波長が $1.1\ \mu\text{m}$ 以上で励起光波長以下であることを特徴とする光増幅用ファイバ。

【請求項 2】 前記希土類元素が Er 元素であることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅用ファイバ。

【請求項 3】 前記光導波領域における Er 元素の添加濃度が $3000\ \text{wt. ppm}$ 以下であり、波長 $1.53\ \mu\text{m}$ の吸収ピークにおける吸収損失が $10\ \text{dB/m}$ 以上であることを特徴とする請求項 2 記載の光増幅用ファイバ。

【請求項 4】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $4.0\ \mu\text{m}$ 以上 $7.5\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅用ファイバ。

【請求項 5】 請求項 1 記載の光増幅用ファイバと、
この光増幅用ファイバに励起光を供給する励起光供給手段と
を備えることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 6】 多段接続された複数の光増幅用ファイバと、
これら複数の光増幅用ファイバに励起光を供給する励起光供給手段と
を備え、
複数の光増幅用ファイバのうち最終段の光増幅用ファイバとして請求項 1 記載
の光増幅用ファイバが用いられている
ことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光導波領域に希土類元素が添加されており励起光が供給されることにより信号光を光増幅する光増幅用ファイバ、および、この光増幅用ファイバを含む光ファイバ増幅器に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

光ファイバ増幅器は、光導波領域に希土類元素が添加された石英系の光増幅用ファイバを光増幅媒体として用いるものであり、この光増幅用ファイバに励起光を供給することで、この光増幅用ファイバにおいて信号光を光増幅することができる。例えば、希土類元素として E r 元素が光導波領域に添加された光増幅用ファイバ (E D F : Erbium Doped Fiber) を用いた光ファイバ増幅器 (E D F A : Erbium Doped Fiber Amplifier) は、波長 $1.48\mu\text{m}$ の励起光を E D F に供給することにより、Cバンド (波長 $1.53\mu\text{m} \sim 1.56\mu\text{m}$) または Lバンド (波長 $1.57\mu\text{m} \sim 1.61\mu\text{m}$) の信号光を E D F において光増幅することができる。

【 0 0 0 3 】

また、光伝送する情報を大容量化すべく、多波長の信号光を波長多重して光伝送を行う波長多重 (W D M : Wavelength Division Multiplexing) 伝送が行われている。WDM伝送において用いられる多波長の信号光は、従来よりCバンドに属するものが使用されているが、更なる大容量化の要求に応えるべく、Lバンドに属するものも使用が検討されている。また、更なる大容量化を図る手段の1つとして、多重化される各信号光の波長間隔を狭めることも検討されている。

【 0 0 0 4 】

E D F A は、CバンドまたはLバンドに属する波長多重された信号光を一括して光増幅することができるので、CバンドまたはLバンドの信号光を用いたWDM伝送システムにおいても好適に用いられる。しかし、このようなE D F A では、非線形光学現象の一種である4光波混合が問題となる。すなわち、E D F において光増幅された多波長の信号光は、パワーが大きくなっており、しかも、波長間隔が狭い。また、通常の光伝送用の光ファイバのモードフィールド径と比べて、E D F のモードフィールド径は小さい。これらのことから、E D F において4光波混合が生じ易い。そして、4光波混合が生じると、各信号光の波形が劣化し、伝送品質が劣化する。

【 0 0 0 5 】

そこで、特開平 1 0 - 2 4 2 5 5 6 号公報には、4 光波混合の発生の抑制を図った E D F が開示されている。この公報に開示された E D F は、波長 1. 5 5 μ m における有効コア径が 9 μ m 以上であって、ゼロ分散波長が 1. 5 3 μ m から 1. 5 6 μ m の範囲外の波長とされている。そして、この E D F を用いた E D F A は、C バンドの多波長の信号光を一括光増幅することができ、その際に 4 光波混合の発生を抑制することができるとしている。

【0 0 0 6】

【発明が解決しようとする課題】

L バンドの信号光をも光増幅する場合にはバンド間非線形光学現象（特に非縮退型 4 光波混合）が問題となり、また、信号光と励起光との間の非縮退型 4 光波混合も問題となる。なお、非縮退型 4 光波混合とは、2 つの波長の光がゼロ分散波長を挟む配置となる場合に位相整合条件が成立することに因り生じる非線形光学現象である。しかしながら、上記公報に開示された E D F は、非縮退型 4 光波混合については何ら対策がなされていないことから、非縮退型 4 光波混合に因る信号光の波形劣化が生じて、伝送品質が劣化する場合がある。

【0 0 0 7】

特に、L バンドの信号光を光増幅する E D F A では、非縮退型 4 光波混合の発生が問題となる。すなわち、L バンド用 E D F A は、多重化する波長の数の増大に伴って全信号光パワーが増大し、単位長さ当たりの利得が小さいことから長尺（C バンド用 E D F A の 5 ～ 1 0 倍程度）の E D F が必要とされ、また、増幅効率が悪いことから大きな励起光パワーが必要とされる。このことから、L バンド用 E D F A は、E D F の単位断面積当たりの光エネルギー密度が高く、しかも、E D F が長尺であることにより、非縮退型 4 光波混合が発生し易い。

【0 0 0 8】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、L バンドの信号光を光増幅するのに好適であって非縮退型 4 光波混合の発生を抑制することができる光増幅用ファイバ、および、この光増幅用ファイバを含む光ファイバ増幅器を提供することを目的とする。

【0 0 0 9】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光増幅用ファイバは、光導波領域に希土類元素が添加されており、励起光が供給されることにより信号光を光増幅する光増幅用ファイバであって、ゼロ分散波長が励起光波長以下であり、実効カットオフ波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で励起光波長以下であることを特徴とする。この光増幅用ファイバは、ゼロ分散波長および実効カットオフ波長それぞれが上記のように規定されていることにより、非縮退型4光波混合の発生を抑制することができる。なお、実効カットオフ波長とは、ITU-Tの規格に従う長さ2mでのカットオフ波長である。

【0010】

本発明に係る光増幅用ファイバは、希土類元素が E_r 元素であることを特徴とする。この場合には、この光増幅用ファイバは、CバンドまたはLバンドの信号光を光増幅することができる。

【0011】

本発明に係る光増幅用ファイバは、光導波領域における E_r 元素の添加濃度が 3000wt. ppm 以下であり、波長 $1.53\mu\text{m}$ の吸収ピークにおける吸収損失が 10dB/m 以上であることを特徴とする。この場合には、濃度消光を起こすことなく短尺化が可能であり、このことから、Lバンド用EDFAにおける光増幅媒体として好適に用いられる。

【0012】

本発明に係る光増幅用ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $4.0\mu\text{m}$ 以上 $7.5\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。この場合には、モードフィールド径が上記のように規定されていることにより、非線形光学現象の発生を更に抑制することができる。

【0013】

本発明に係る光ファイバ増幅器は、上記の本発明に係る光増幅用ファイバと、この光増幅用ファイバに励起光を供給する励起光供給手段とを備えることを特徴とする。この光ファイバ増幅器では、光増幅用ファイバに励起光供給手段により励起光が供給され、この光増幅用ファイバにおいて信号光が光増幅される。光増幅用ファイバとして上記の本発明に係るものが用いられていることにより、非縮

退型 4 光波混合の発生を抑制することができる。

【0014】

本発明に係る光ファイバ増幅器は、多段接続された複数の光増幅用ファイバと、これら複数の光増幅用ファイバに励起光を供給する励起光供給手段とを備え、複数の光増幅用ファイバのうち最終段の光増幅用ファイバとして上記の本発明に係る光増幅用ファイバが用いられていることを特徴とする。この光ファイバ増幅器では、多段接続された複数の光増幅用ファイバに励起光供給手段により励起光が供給され、これら複数の光増幅用ファイバにおいて信号光が光増幅される。信号光パワーが最も大きくなる最終段の光増幅用ファイバとして上記の本発明に係るものが用いられていることにより、非縮退型 4 光波混合の発生を効果的に抑制することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0016】

（第 1 実施形態）

先ず、本発明に係る光増幅用ファイバおよび光ファイバ増幅器の第 1 実施形態について説明する。図 1 は、第 1 実施形態に係る光ファイバ増幅器 1 の構成図である。この光ファイバ増幅器 1 は、入力端 1 1 から出力端 1 2 へ向けて順に、光アイソレータ 2 1、光カップラ 4 0、光増幅用ファイバ 3 1 および光カップラ 4 1 が設けられており、光カップラ 4 0 には励起光源 5 0 が接続されており、また、光カップラ 4 1 には励起光源 5 1 が接続されている。

【0017】

光アイソレータ 2 1 は、入力端 1 1 から光カップラ 4 0 への順方向には光を通過させるが、逆方向には光を通過させない。光増幅用ファイバ 3 1 は、石英系の光ファイバであって、光導波領域に希土類元素（例えば Er 元素）が添加されており、励起光（例えば波長 $1.48\mu\text{m}$ ）が供給されることにより信号光（例えば C バンドまたは L バンド）を光増幅する。光カップラ 4 0 は、励起光源 5 0 より到

達した励起光を光増幅用ファイバ 3 1 へ出力し、光アイソレータ 2 1 より到達した信号光を光増幅用ファイバ 3 1 へ出力する。光カプラ 4 1 は、励起光源 5 1 より到達した励起光を光増幅用ファイバ 3 1 へ出力し、光増幅用ファイバ 3 1 より到達した信号光を出力端 1 2 へ出力する。励起光源 5 0, 5 1 それぞれは、例えば半導体レーザ光源であり、光増幅用ファイバ 3 1 に添加された希土類元素を励起し得る波長の励起光を出力する。

【 0 0 1 8 】

この光ファイバ増幅器 1 では、励起光源 5 0 から出力された励起光は、光カプラ 4 0 を経て光増幅用ファイバ 3 1 に順方向に供給される。また、励起光源 5 1 から出力された励起光は、光カプラ 4 1 を経て光増幅用ファイバ 3 1 に逆方向に供給される。入力端 1 1 に入力した信号光は、光アイソレータ 2 1 および光カプラ 4 0 を通過して光増幅用ファイバ 3 1 に入射し、この光増幅用ファイバ 3 1 において光増幅される。そして、この光増幅された信号光は、光カプラ 4 1 を経て出力端 1 2 より出力される。

【 0 0 1 9 】

特に本実施形態では、光増幅用ファイバ 3 1 は、ゼロ分散波長が励起光波長以下であり、実効カットオフ波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で励起光波長以下であることを特徴としている。ゼロ分散波長が励起光波長以下であることにより、励起光および信号光のうち何れの 2 つの波長の光もゼロ分散波長を挟む配置となることが無いことから、非縮退型 4 光波混合の発生が抑制される。また、光増幅用ファイバ 3 1 の実効カットオフ波長が励起光波長以下であることにより、光増幅用ファイバ 3 1 は、励起光波長でも単一モードとなる。光増幅用ファイバ 3 1 の実効カットオフ波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上であることにより、光増幅用ファイバ 3 1 は、曲げロスが小さい。

【 0 0 2 0 】

なお、光増幅用ファイバ 3 1 の曲げロスは、光増幅用ファイバ 3 1 の構造に大きく依存する。すなわち、実効カットオフ波長が長いほど、また、比屈折率差が大きいほど、曲げロスは小さい。一方、光ファイバ増幅器 1 はモジュール化されることから、光増幅用ファイバ 3 1 は、ボビンに巻き付けられ、或いは、束取り

状態とされ、しかも、収納の観点からは巻き径が小さいことが望まれる。図 2 は、光増幅用ファイバ 3 1 の波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における曲げロスと実効カットオフ波長との関係を示すグラフである。この図では、比屈折率差 Δn の値が 0.7% である場合、および、 0.5% である場合それぞれについて記載されている。また、光増幅用ファイバ 3 1 は、巻き径が $35\ \text{mm}\phi$ であり、長さが $67\ \text{m}$ であり、波長 $1.53\ \mu\text{m}$ の吸収ピークにおける吸収損失が $10\ \text{dB}/\text{m}$ であり、吸収条長積が $1000\ \text{dB}$ である。この図から判るように、実効カットオフ波長が $1.03\ \mu\text{m}$ 以上であれば、光増幅用ファイバ 3 1 の波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における曲げロスは $0.05\ \text{dB}$ 以下であり、実効カットオフ波長が $1.1\ \mu\text{m}$ 以上であれば、光増幅用ファイバ 3 1 の波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における曲げロスは $0.003\ \text{dB}$ 以下である。

【0021】

光増幅用ファイバ 3 1 のゼロ分散波長については、更に以下のことが言える。すなわち、ビットレート $40\ \text{Gbps}$ 以上の超高速伝送では、ゼロ分散波長から少し離れた波長の信号光は、波長分散の影響により波形が劣化する。光増幅用ファイバ 3 1 に許容される波長分散値の絶対値を $1\ \text{ps}/\text{nm}$ 以下とすると、光増幅用ファイバ 3 1 の最大長さが $100\ \text{m}$ 程度であるから、光増幅用ファイバ 3 1 のゼロ分散波長は $1.3\ \mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。図 3 は、光増幅用ファイバの波長分散特性を示す図である。この図に示す比較例の光ファイバは、ゼロ分散波長が $1.3\ \mu\text{m}$ 未満であって、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における波長分散が $10\ \text{ps}/\text{km}/\text{nm}$ 超である。これに対して、この図に示す光増幅用ファイバ 3 1 は、ゼロ分散波長が $1.3\ \mu\text{m}$ 以上であって、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における波長分散が $10\ \text{ps}/\text{km}/\text{nm}$ 以下である。

【0022】

また、光増幅用ファイバ 3 1 は、希土類元素として Er 元素が光導波領域に添加されており、好適には、光導波領域における Er 元素の添加濃度が $3000\ \text{wt. ppm}$ 以下であり、波長 $1.53\ \mu\text{m}$ の吸収ピークにおける吸収損失が $10\ \text{dB}/\text{m}$ 以上であることを特徴としている。このようにすることにより、光増幅用ファイバ 3 1 は、C バンドまたは L バンドの信号光を光増幅することができる

。また、光増幅用ファイバ31は、濃度消光を起こすこと無く短尺化が可能であり、このことから、Lバンド用EDFAにおける光増幅媒体として好適に用いられる。

【0023】

なお、光増幅用ファイバ31は、光導波領域に添加される希土類元素（Er元素）の濃度が高いほど、短尺化が可能である。しかし、Er添加濃度が高くなりすぎると、Erイオン間の相互作用に因り光増幅特性が劣化する。図4は、光増幅用ファイバ31における変換効率とEr添加濃度との関係を示す図である。変換効率とは、励起光エネルギーが信号光エネルギーに変換される効率であって、変換効率が高いほど光増幅特性が優れる。この図から判るように、Er添加濃度が300wt.ppm以下であれば、光増幅用ファイバ31における変換効率が高い。また、これに伴って、濃度1wt%以上（好適には3wt%以上）のAl元素が共添加されるのが好ましい。

【0024】

また、好適には、光増幅用ファイバ31は、波長1.55 μ mにおけるモードフィールド径が4.0 μ m以上7.5 μ m以下であることを特徴とすることにより、非線形光学現象の発生を更に抑制することができる。なお、モードフィールド径は、ITU-TのPetermannIIの定義式による。図5は、光増幅用ファイバ31のゼロ分散波長と実効カットオフ波長との関係を示す図である。図6は、光増幅用ファイバ31の波長1.55 μ mにおけるモードフィールド径と実効カットオフ波長との関係を示す図である。これらの図では、光増幅用ファイバ31の比屈折率差の各値について示した。

【0025】

なお、図5において実線で示した矩形の範囲は、実効カットオフ波長が1.1 μ m以上1.48 μ m以下であって、ゼロ分散波長が1.3 μ m以上1.48 μ m以下である。また、破線で示した矩形の範囲は、実効カットオフ波長が1.03 μ m以上1.48 μ m以下であって、ゼロ分散波長が1.3 μ m以上1.48 μ m以下である。実効カットオフ波長の下限值1.1 μ mは、曲げロスの低減に基づくものであり、実効カットオフ波長の上限值1.48 μ mは、励起光波長で

の単一モード条件に基づくものである。ゼロ分散波長の下限值 $1.3 \mu\text{m}$ は、信号光波長での波長分散に関する要求に基づくものであり、ゼロ分散波長の上限值 $1.48 \mu\text{m}$ は、非縮退型 4 光波混合の発生の抑制に基づくものである。

【 0 0 2 6 】

次に、光ファイバ増幅器 1 および光増幅用ファイバ 3 1 の具体的な実施例について説明する。実施例の光ファイバ増幅器は、光増幅用ファイバ 3 1 として 3 種類の EDF 1, EDF 2 および EDF 3 のうちの何れかを用いた。順方向に励起光を供給する為の励起光源 5 0 は、出力波長が $1.48 \mu\text{m}$ であって、出力パワーが 360 mW であった。逆方向に励起光を供給する為の励起光源 5 1 は、出力波長が $1.48 \mu\text{m}$ であって、出力パワーが 270 mW であった。入力端 1 1 に入力する信号光は 2 波であって、一方の信号光の波長は C バンドに属する 1574.5 nm であり、他方の信号光の波長は L バンドに属する 1609.0 nm であった。入力端 1 1 に入力する各信号光のパワーは 0 dBm とし、出力端 1 2 より出力する各信号光のパワーは 22.3 dBm とした。また、動作温度を 25°C とした。

【 0 0 2 7 】

図 7 は、3 種類の EDF 1, EDF 2 および EDF 3 それぞれの諸元を纏めた図表である。EDF 1 は、比屈折率差 Δn が 1.12% であり、実効カットオフ波長が $1.37 \mu\text{m}$ であり、ゼロ分散波長が $1.38 \mu\text{m}$ (励起光波長以下) であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $5.74 \mu\text{m}$ であり、Er 添加濃度が 912 wt. ppm であり、Al 添加濃度が 3.9 wt. \% であった。EDF 2 は、比屈折率差 Δn が 1.34% であり、実効カットオフ波長が $1.28 \mu\text{m}$ であり、ゼロ分散波長が $1.57 \mu\text{m}$ (励起光波長と信号光波長との間) であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $5.46 \mu\text{m}$ であり、Er 添加濃度が 1140 wt. ppm であり、Al 添加濃度が 6.2 wt. \% であった。EDF 3 は、比屈折率差 Δn が 0.71% であり、実効カットオフ波長が $0.83 \mu\text{m}$ であり、ゼロ分散波長が $1.65 \mu\text{m}$ (信号光波長以上) であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $7.81 \mu\text{m}$ であり、Er 添加濃度が 790 wt. ppm であり、Al 添加濃度が 3.5 wt. \% であった。

【 0 0 2 8 】

図 8 は、3 種類のエ D F 1、E D F 2 および E D F 3 それぞれを用いた場合に光ファイバ増幅器から出力される光のスペクトルを示す図である。この図から判るように、励起光波長と信号光波長との間にゼロ分散波長が存在する E D F 2 を用いた場合には、波長 1 5 8 3 n m 付近に非縮退型 4 光波混合により生じた光の成分が現れた。これに対して、励起光波長と信号光波長との間にゼロ分散波長が存在しない E D F 1 または E D F 3 を用いた場合には、非縮退型 4 光波混合の影響が現れなかった。また、E D F 3 は、実効カットオフ波長が 0. 8 3 μ m であって小さいので、波長 1. 5 5 μ m における曲げロス（巻き径 3 5 m m ϕ 、長さ 6 7 m）が 1. 3 d B 程度と大きく、実用上問題があることが確認された。

【 0 0 2 9 】

（第 2 実施形態）

次に、本発明に係る光増幅用ファイバおよび光ファイバ増幅器の第 2 実施形態について説明する。図 9 は、第 2 実施形態に係る光ファイバ増幅器 2 の構成図である。この光ファイバ増幅器 2 は、入力端 1 1 から出力端 1 2 へ向けて順に、光アイソレータ 2 1、光増幅用ファイバ 3 1、光カップラ 4 1、光増幅用ファイバ 3 2 および光カップラ 4 2 が設けられており、光カップラ 4 1 には励起光源 5 1 が接続されており、また、光カップラ 4 2 には励起光源 5 2 が接続されている。

【 0 0 3 0 】

光アイソレータ 2 1 は、入力端 1 1 から光増幅用ファイバ 3 1 への順方向には光を通過させるが、逆方向には光を通過させない。光増幅用ファイバ 3 1、3 2 それぞれは、石英系の光ファイバであって、光導波領域に希土類元素（例えば E r 元素）が添加されており、励起光（例えば波長 1. 4 8 μ m）が供給されることにより信号光（例えば C バンドまたは L バンド）を光増幅する。光カップラ 4 1 は、励起光源 5 1 より到達した励起光を光増幅用ファイバ 3 1 へ出力し、光増幅用ファイバ 3 1 より到達した信号光を光増幅用ファイバ 3 2 へ出力する。光カップラ 4 2 は、励起光源 5 2 より到達した励起光を光増幅用ファイバ 3 2 へ出力し、光増幅用ファイバ 3 2 より到達した信号光を出力端 1 2 へ出力する。励起光源 5 1、5 2 それぞれは、例えば半導体レーザ光源であり、光増幅用ファイバ 3 1、

3 2 に添加された希土類元素を励起し得る波長の励起光を出力する。

【 0 0 3 1 】

この光ファイバ増幅器 2 では、励起光源 5 1 から出力された励起光は、光カプラ 4 1 を経て光増幅用ファイバ 3 1 に逆方向に供給される。また、励起光源 5 2 から出力された励起光は、光カプラ 4 2 を経て光増幅用ファイバ 3 2 に逆方向に供給される。入力端 1 1 に入力した信号光は、光アイソレータ 2 1 を通過して光増幅用ファイバ 3 1 に入射し、この光増幅用ファイバ 3 1 において光増幅される。この光増幅用ファイバ 3 1 において光増幅された信号光は、光カプラ 4 1 を経て光増幅用ファイバ 3 2 に入射し、この光増幅用ファイバ 3 2 において更に光増幅される。そして、この光増幅用ファイバ 3 2 において光増幅された信号光は、光カプラ 4 2 を経て出力端 1 2 より出力される。

【 0 0 3 2 】

本実施形態に係る光増幅用ファイバ 3 1, 3 2 それぞれは、第 1 実施形態に係る光増幅用ファイバ 3 1 と同様のものである。したがって、本実施形態でも、非縮退型 4 光波混合の発生が抑制される。特に本実施形態では、信号光パワーが最も大きくなる最終段の光増幅用ファイバ 3 2 として本発明に係るものが用いられていることにより、非縮退型 4 光波混合の発生を効果的に抑制することができる。

【 0 0 3 3 】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態に係る光増幅用ファイバは、光導波領域に希土類元素として E r 元素が添加されたものであったが、他の希土類元素（例えば、T m 元素、P r 元素、N d 元素、等）が添加されてもよい。

【 0 0 3 4 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光増幅用ファイバは、光導波領域に希土類元素が添加されており励起光が供給されることにより信号光を光増幅する光増幅用ファイバであって、ゼロ分散波長が励起光波長以下であり、実効カットオフ波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で励起光波長以下である。この光増幅用ファイバは

、非縮退型 4 光波混合の発生を抑制することができる。また、希土類元素が E r 元素である場合には、C バンドまたは L バンドの信号光を光増幅するのに好適である。また、光導波領域における E r 元素の添加濃度が 3 0 0 0 w t . p p m 以下であり、波長 1 . 5 3 μ m の吸収ピークにおける吸収損失が 1 0 d B / m 以上である場合には、濃度消光を起こすこと無く短尺化が可能であり、このことから、L バンド用 E D F A における光増幅媒体として好適に用いられる。さらに、波長 1 . 5 5 μ m におけるモードフィールド径が 4 . 0 μ m 以上 7 . 5 μ m 以下である場合には、非線形光学現象の発生を更に抑制することができる。

【 0 0 3 5 】

本発明に係る光ファイバ増幅器は、上記の本発明に係る光増幅用ファイバと、この光増幅用ファイバに励起光を供給する励起光供給手段とを備える。この光ファイバ増幅器は、光増幅用ファイバとして上記の本発明に係るものが用いられていることにより、非縮退型 4 光波混合の発生を抑制することができる。また、多段接続された複数の光増幅用ファイバと、これら複数の光増幅用ファイバに励起光を供給する励起光供給手段とを備えていて、複数の光増幅用ファイバのうち最終段の光増幅用ファイバとして上記の本発明に係る光増幅用ファイバが用いられているのが好適である。この光ファイバ増幅器では、信号光パワーが最も大きくなる最終段の光増幅用ファイバとして上記の本発明に係るものが用いられていることにより、非縮退型 4 光波混合の発生を効果的に抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 実施形態に係る光ファイバ増幅器の構成図である。

【図 2】

光増幅用ファイバの波長 1 . 5 5 μ m における曲げロスと実効カットオフ波長との関係を示すグラフである。

【図 3】

光増幅用ファイバの波長分散特性を示す図である。

【図 4】

光増幅用ファイバにおける変換効率と E r 添加濃度との関係を示す図である。

【図 5】

光増幅用ファイバのゼロ分散波長と実効カットオフ波長との関係を示す図である。

【図 6】

光増幅用ファイバの波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径と実効カットオフ波長との関係を示す図である。

【図 7】

3 種類の EDF 1, EDF 2 および EDF 3 それぞれの諸元を纏めた図表である。

【図 8】

3 種類の EDF 1, EDF 2 および EDF 3 それぞれを用いた場合に光ファイバ増幅器から出力される光のスペクトルを示す図である。

【図 9】

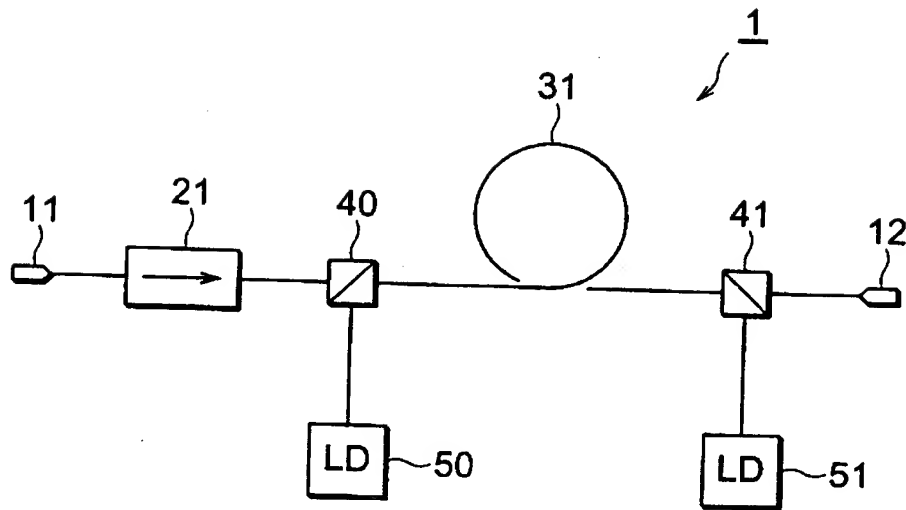
第 2 実施形態に係る光ファイバ増幅器の構成図である。

【符号の説明】

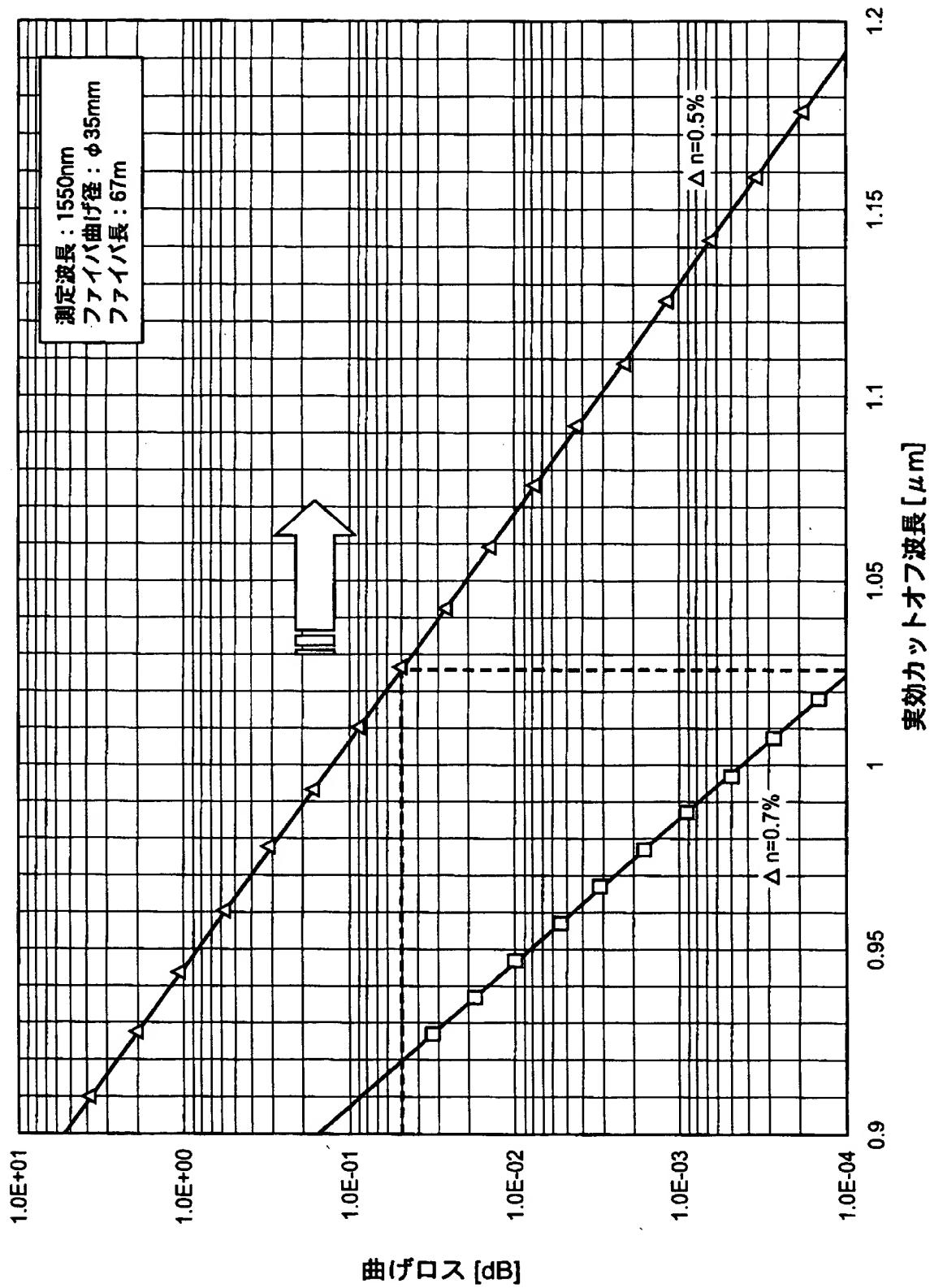
1, 2…光ファイバ増幅器、11…入力端、12…出力端、21…光アイソレータ、31, 32…光増幅用ファイバ、40, 41, 42…光カプラ、50, 51, 52…励起光源。

【書類名】 図面

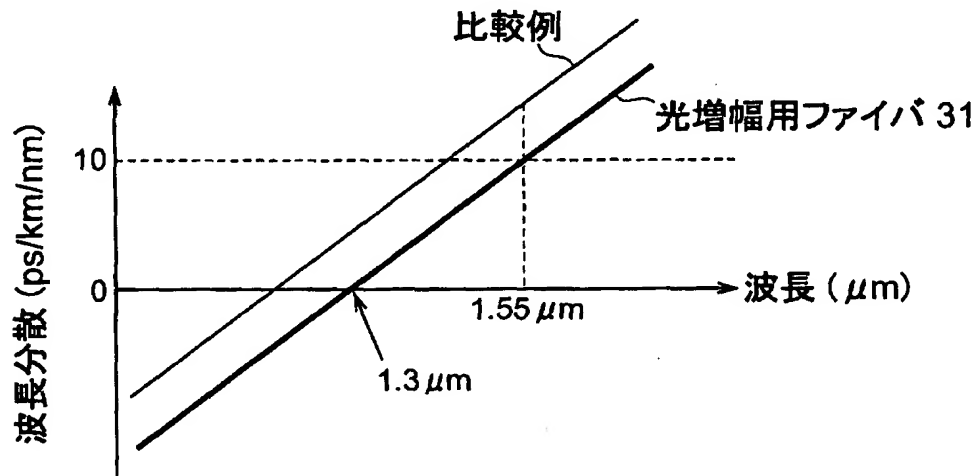
【図 1】



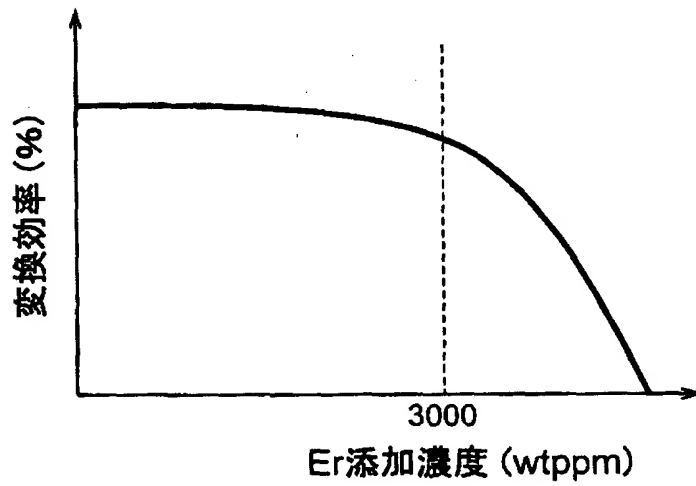
【図 2】



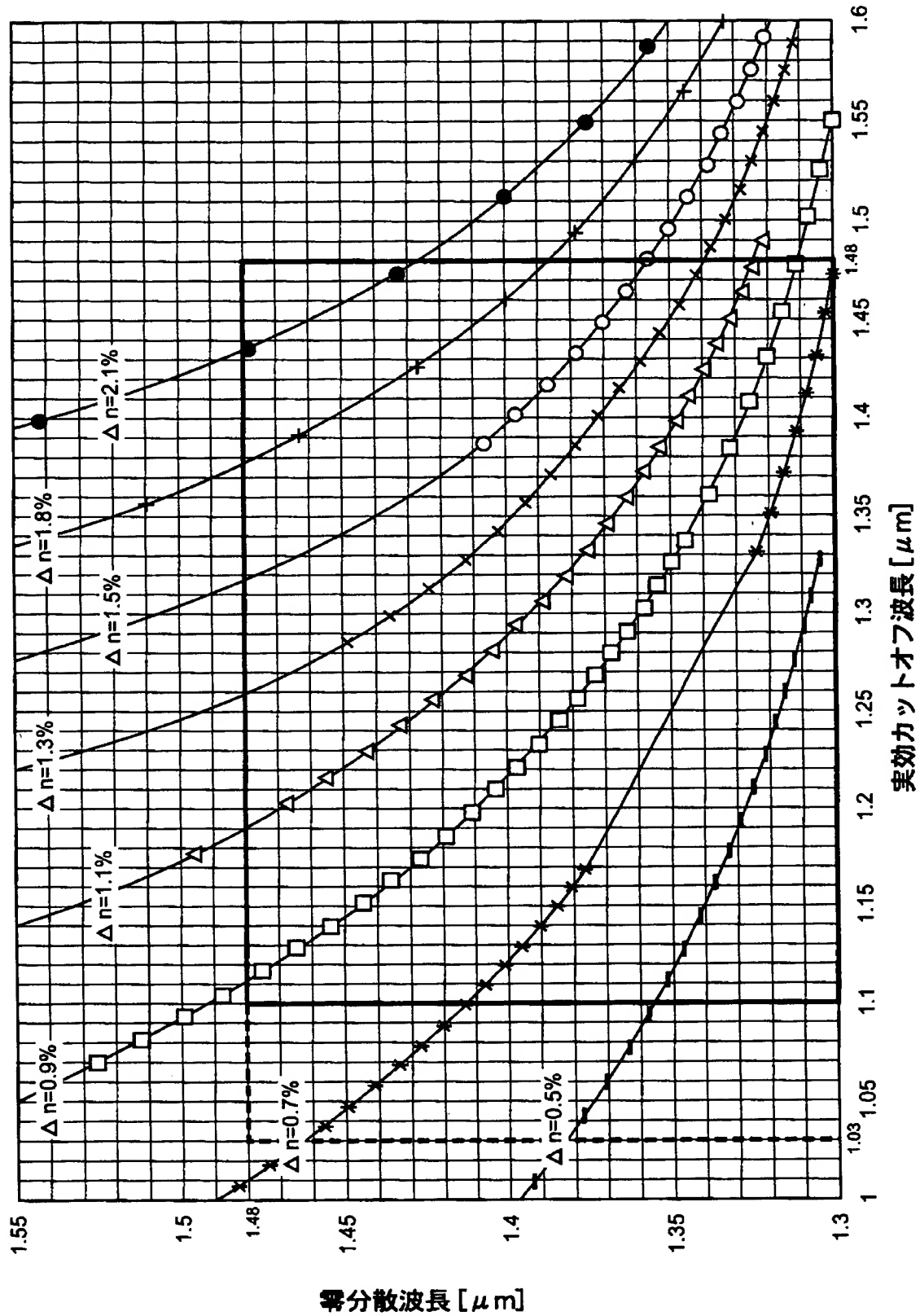
【図 3】



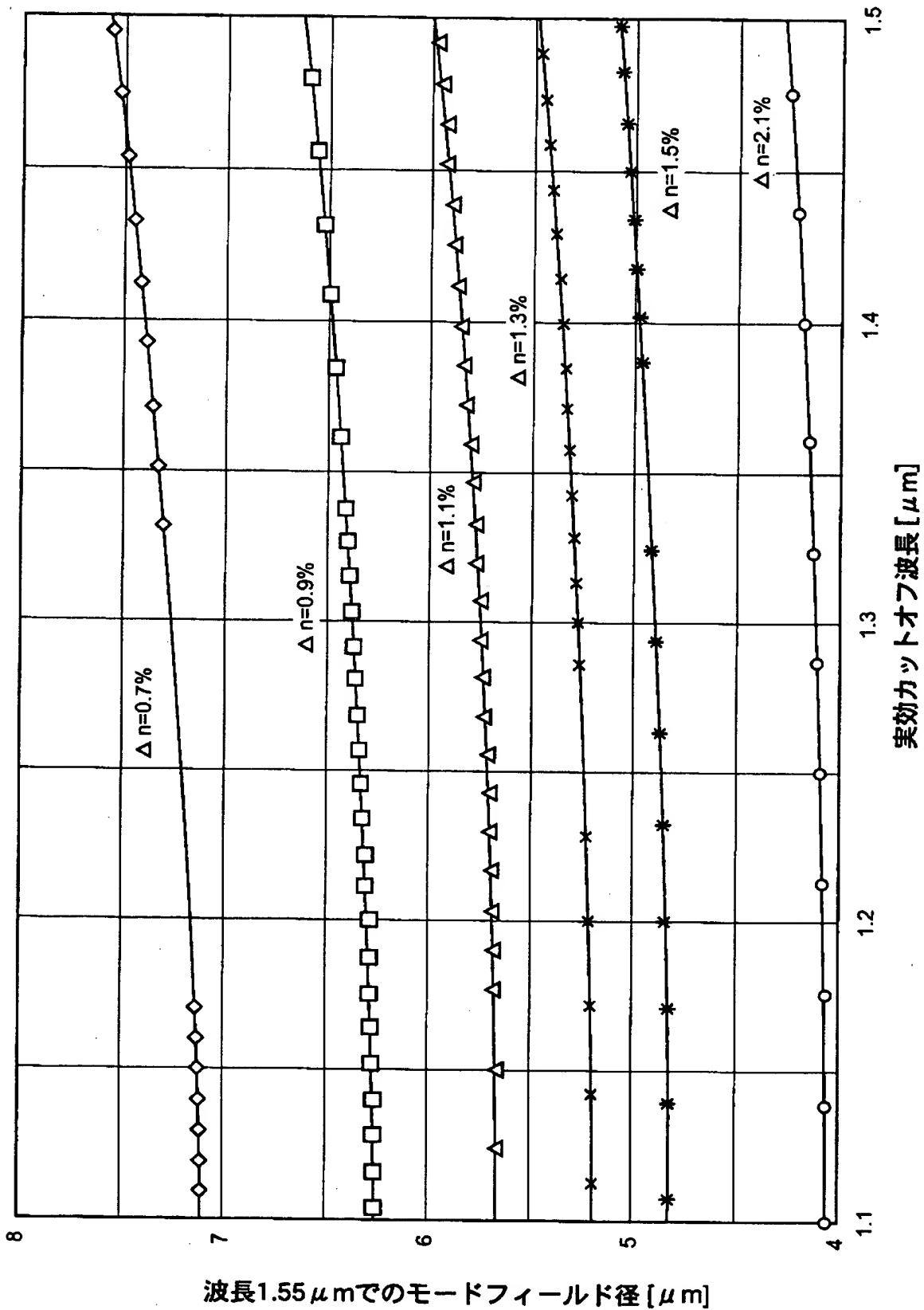
【図 4】



【図5】



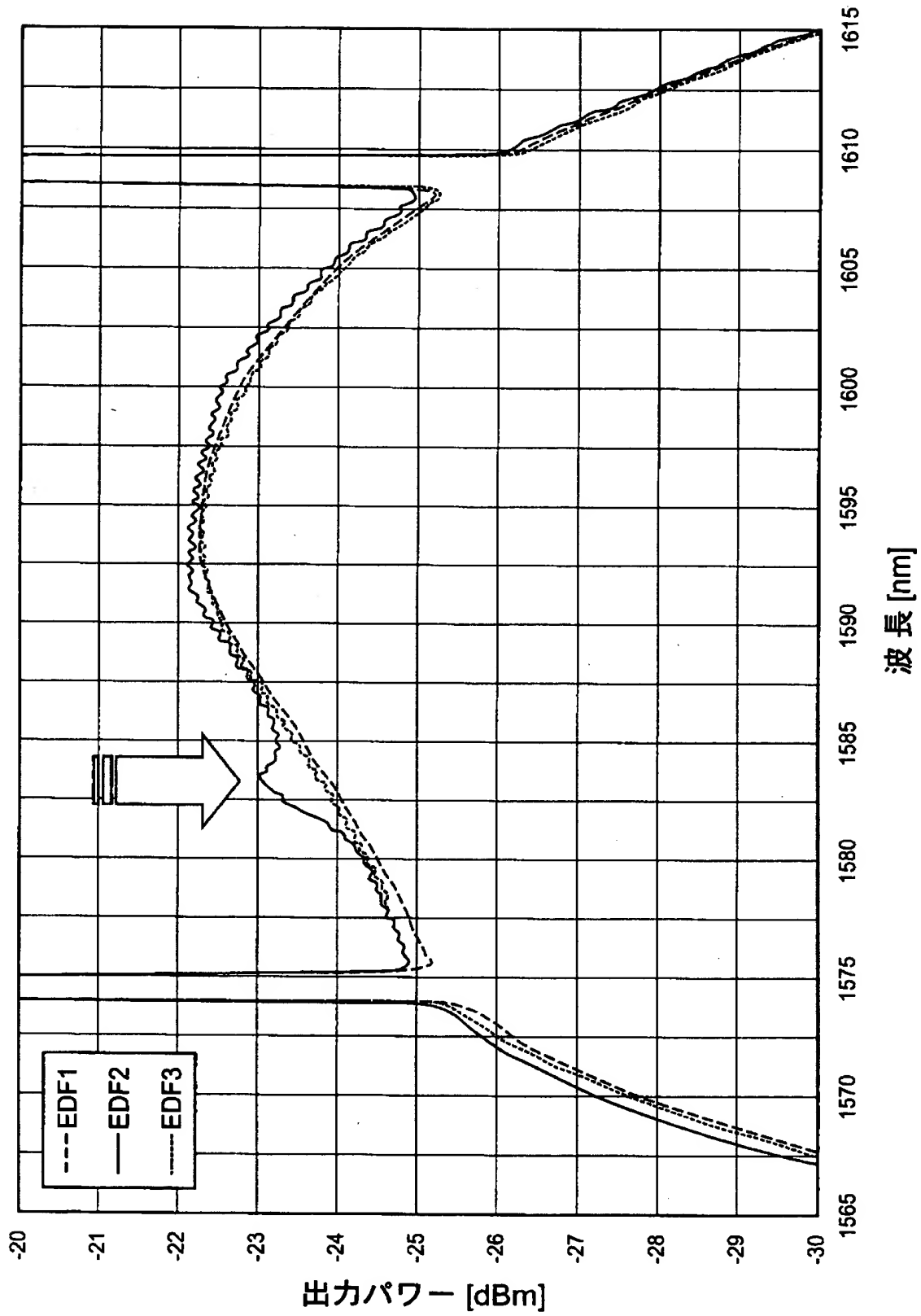
【図 6】



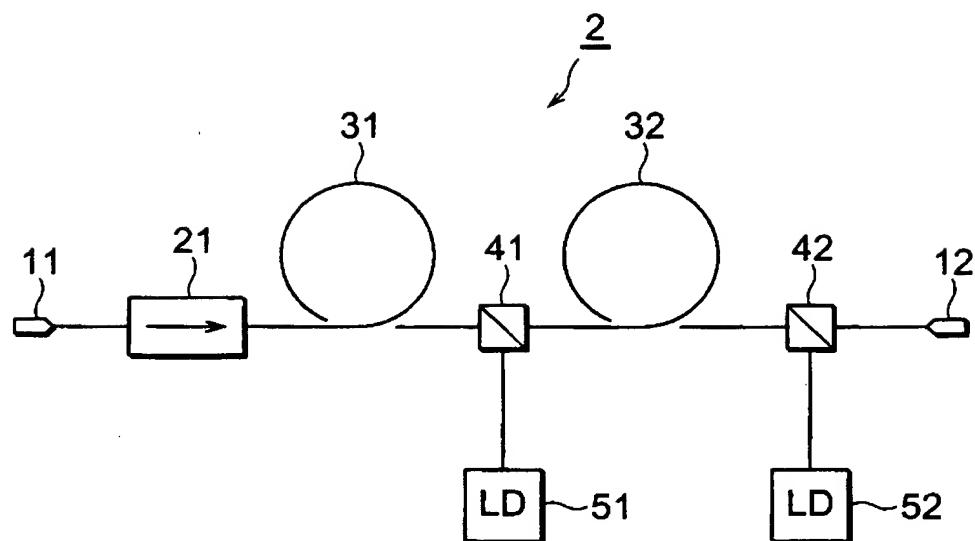
【図 7】

	比屈折率差 Δn	実効カットオフ 波長	ゼロ分散波長	モード ファイナード径 @1.55	Er添加濃度	Al添加濃度
EDF1	1.12%	1.37 μm	1.38 μm	5.74 μm	912wtppm	3.9wt%
EDF2	1.34%	1.28 μm	1.57 μm	5.46 μm	1140wtppm	6.2wt%
EDF3	0.71%	0.83 μm	1.65 μm	7.81 μm	790wtppm	3.5w%

【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 Lバンドの信号光を光増幅するのに好適であって非縮退型4光波混合の発生を抑制することができる光増幅用ファイバ、および、この光増幅用ファイバを含む光ファイバ増幅器を提供する。

【解決手段】 光ファイバ増幅器1では、励起光源50から出力された励起光は、光カップラ40を経て光増幅用ファイバ31に順方向に供給される。励起光源51から出力された励起光は、光カップラ41を経て光増幅用ファイバ31に逆方向に供給される。入力端11に入力した信号光は、光アイソレータ21および光カップラ40を通過して光増幅用ファイバ31に入射し、この光増幅用ファイバ31において光増幅される。この光増幅された信号光は、光カップラ41を経て出力端12より出力される。光増幅用ファイバ31は、ゼロ分散波長が励起光波長以下であり、実効カットオフ波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で励起光波長以下である。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名 住友電気工業株式会社